磷酸脲添加量对羔羊生长性能、屠宰性能和肉品质的影响

张　帆[1]　纪守坤[1]　张乃锋[1]　姜成钢[1]　王黎文[2]　丁　健[2]　司丙文[1]　屠　焰[1]　刁其玉[1*]
（1.中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点实验室，北京 100081；2.农业部畜牧兽医总站，北京 100026）

摘　要：本试验旨在研究磷酸脲添加量对羔羊生长性能、屠宰性能和肉品质的影响，并对磷酸脲在肉羊生产中的安全使用剂量进行评价。试验选用 80 只杜寒杂交 F1 代平均体重（25.86±1.06） kg 的公羔羊，随机分为 5 组，每组 8 个重复，每个重复 2 只，在精粗比为 1:1 的饲粮中分别以 0（对照）、0.5%、1%、2%、4%的磷酸脲替代部分豆粕类饲料。预试期为 12 d，正试期为 60 d。结果表明：1%组的羔羊在各时期平均日增重、宰前活重、胴体重、屠宰率均达到最高值；4%组的羔羊在各时期平均日增重、宰前活重、胴体重均极显著低于其他各组（$P<0.01$）；与对照组相比，磷酸脲添加量对肉色红度值、pH、滴水损失无显著影响（$P>0.05$）；2%组的黄度值显著高于其他各组（$P<0.05$）；在剪切力方面，1%组（5.16 kg/cm^2）显著高于 0.5%组（4.47 kg/cm^2）、4%组（3.69 kg/cm^2）和对照组（4.21 kg/cm^2）（$P<0.05$）。结果提示：磷酸脲可以作为氮磷添加剂用于肉羊饲粮中。羔羊饲料中的磷酸脲添加量为 1%时，羔羊达到最佳生长性能和屠宰性能；当磷酸脲替代比例达到 4%时，极显著降低羔羊的平均日增重、胴体重，增加肌肉的亮度值；当磷酸脲替代比例为 2%时，为有效安全水平，对羔羊生长性能、屠宰性能和肉品质除肌肉黄度值外无显著影响。因此，饲料中 1%的磷酸脲添加量能够使羔羊达到最佳生长性能。

关键词：磷酸脲；羔羊；平均日增重；屠宰率；肉品质
中图分类号：S816.7；S826

随着我国养殖业的快速发展，作为重要蛋白质饲料资源的大豆已严重依赖进口，据海关总署数据显示，2014年我国大豆的进口总量为7 140万t，创历史新高[1]，而当年国内大豆产量仅为1 150万t[2]，为我国的畜牧业可持续发展造成了障碍。因此寻找可替代大豆等蛋白质饲料资源是缓解这一现状的重要措施。磷酸脲（urea phosphate）是一种能同时提供非蛋白氮（non protein nitrogen,NPN）和磷（P）的饲料添加剂[3]，反刍动物可利用磷酸脲合成微生物蛋白，进而合成相应的动物性产品。目前在反刍动物中最常利用的NPN是尿素，但实际生产

收稿日期：2015-11-16
基金项目：农产品质量安全专项资金（2014）；牧区饲草饲料资源开发利用技术研究与示范（20120304202）
作者简介：张　帆（1990—），男，河南南阳人，硕士研究生，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail: 1065598441@qq.com
*通信作者：刁其玉，研究员，博士生导师，E-mail: diaoqiyu@caas.cn

中尿素存在味苦、适口性差、使用不方便、饲喂量有限、氨释放速度快而易引起尿素中毒等诸多问题[4]。而磷酸脲是一种可同时提供氮和磷的反刍动物饲料添加剂，氨的释放速度低于尿素，是一种新型、安全的NPN[5]。在畜牧业中磷酸脲不仅是欧共体（CE）饲料业法定的Ⅰ类添加剂，也是联合国粮农组织（FAO）推荐使用的反刍动物专用营养添加剂和磷的补充剂[6]，我国对磷酸脲的研究始于20世纪80年代中后期[7]。河南周口地区利用贵州天德饲料添加剂厂生产的磷酸脲进行肉牛增重试验。结果发现：每头添加50 g磷酸脲，可使育肥牛平均日增重增加到1 213 g/d，与对照组相比其平均日增重增加380 g/d[8]。云南化工研究所对50只18~23日龄昆明小白鼠进行了急性毒性试验，发现磷酸脲的半数致死量为（3.9±0.67） g/kg BW，按照食品添加剂急性毒性分级标准，磷酸脲属于低毒类物品[9]。张帆等[10]报道磷酸脲添加量对羔羊背腰最长肌中钙、磷含量无显著影响。羊肉具有营养价值高和胆固醇含量低的特点，随着人们生活水平的提高，羊肉的消费也将迅速增加[11]，特别是羔羊肉的需求量将会大量增加。随着人们的消费健康意识的增强，对肉品质的关注度越来越大，通常用肉色、pH、滴水损失、剪切力等来评价肉的品质[12]。磷酸脲可作为反刍动物一种有效、安全、低毒的NPN饲料添加剂，但目前关于磷酸脲对羔羊的生长性能、屠宰性能和羊肉品质的研究报道较少，而上述指标则直接关系养殖者的经济效益，以及消费者对羊肉的选择性和认可度。本研究旨在研究磷酸脲不同添加量对育肥羔羊生长性能、屠宰性能及羊肉的肉色、pH、剪切力、滴水损失等肉品质指标的影响，为磷酸脲在肉羊育肥过程中的利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验时间与地点

本试验于 2014 年 4 月 8 日至 2014 年 6 月 20 日在北京市大兴区佟营羊场进行，试验预试期 12 d，正试期 60 d，总历时 72 d。

1.2 试验设计

试验采用单因子随机区组试验设计，选用3月龄平均体重（25.86±1.06） kg的健康无病F1代杜寒杂交公羔羊80只，按照体重一致的原则随机分为5组，每组8个重复，每个重复2只，即每个处理16只羔羊。试验对照组饲喂不添加磷酸脲的精料，试验组分别以1%、2%、4%和8%的磷酸脲部分替代豆粕等精饲料。每日饲喂2次（08:00、20:00），每日的饲喂量根据前1天的采食量进行调整，先饲喂粗料，后饲喂精料，根据粗料采食量确定精料饲喂量，试验期内精粗比保持1:1，自由采食。各组羔羊饲粮中实际采食的磷酸脲含量分别为0（对照）、0.5%、1%、2%和4%。在整个试验过程中羔羊采用全舍饲方式饲养，每栏2只，自由饮水，

试验光照、温度、免疫按常规程序进行。

1.3 试验饲粮

试验用羔羊的饲粮营养水平参照NRC（2007）[13]进行配制，精料为由北京市中农兴饲料科技有限公司配制的粉状饲料，粗饲料为大豆秸。试验用各组饲粮的配制根据试验要求及保持除磷外其余各营养水平一致的原则进行配制。试验精料组成及营养水平见表1，其中各营养水平的测定参照《饲料分析及饲料质量检测技术》[14]进行。

表 1 试验精料组成及试验饲粮营养水平（风干基础）

Table 1 Composition of experimental concentrates and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis) %

项目 Items	对照组 Control group	0.5%组 0.5% group	1%组 1% group	2%组 2% group	4%组 4% group
精料原料 Ingredients					
玉米 Corn	44.00	47.00	49.50	54.50	64.50
麦麸 Wheat bran	8.00	7.00	6.00	4.00	0.00
豆粕 Soybean meal	25.00	22.00	19.50	14.50	4.50
干酒糟及其可溶物 DDGS	19.5.0	19.50	19.50	19.50	19.50
磷酸脲 Urea phosphate	0.00	1.00	2.00	4.00	8.00
石粉 Limestone	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
预混料 Premix	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
食盐 NaCl	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
饲粮营养水平 Nutrient levels of diets					
干物质 DM	89.05	89.12	88.87	89.43	89.35
粗灰分 Ash	8.77	8.02	7.11	9.15	8.32
粗蛋白质 CP	15.75	15.25	15.73	15.49	15.32
瘤胃降解蛋白 RDP	6.88	7.52	8.21	9.61	12.40
瘤胃非降解蛋白 UDP	8.87	7.73	7.52	5.88	2.92
代谢能 ME/（MJ/kg)	8.35	8.21	8.35	8.28	8.23
钙 Ca	1.19	1.20	1.29	1.29	1.25
磷 P	0.39	0.46	0.56	0.65	1.01

1) 预混料为每千克精料提供 The premix provided the following per kg of concentrates：VA 8 000 IU，VD 2 000 IU，VE 40 mg，Fe 70 mg，Cu 12 mg，Mn 50 mg，Zn 80 mg，Se 0.27 mg，I 1.5 mg，Co 0.3 mg。

2) 营养水平按照精粗比1:1进行混合后测定，除代谢能为计算值[15]外，其余均为实测值。Nutrient levels were measured after that concentrate and roughage were mixed with the ratio of 1:1, and were measured values except ME[15].

1.4 试验材料

试验用的磷酸脲为由中化云龙公司提供的无色透明棱柱状晶体，含NPN 16%，磷17%。

1.5 样品的采集及测量指标和方法

1.5.1 生长性能的测定

在试验的1（预试期开始时）、13、43和73 d晨饲前称取羔羊体重，进而分别计算出预试期（0~12 d）、正试期第1月（13~42 d）、正试期第2月（43~72 d）和正试期全期4个时期的平均日增重。

1.5.2 屠宰性能的测定

试验结束时，禁食（保持自由饮水）12 h称取活重，每组随机选取6只羔羊进行颈静脉放血屠宰，去除羔羊的头、血、尾、皮、蹄和内脏后，经冲洗干净后称取羔羊的胴体重，并结合体重计算出羔羊的屠宰率。

屠宰率(%)=（胴体重/宰前活重）×100。

1.5.3 肉品质的测定

屠宰后，每只屠宰羊均选取相同部位的背腰最长肌肌肉进行肉品质的相关指标的测定。各种指标测定方法如下：1）肉色，在屠宰后1~2 h内选取羔羊最后1个胸椎处3块背最长肌进行肉色测定。采用TCP2全自动色差仪测定肉色红度（a*）值、黄度（b*）值及亮度（L*）值。每个样品测定3次，测后取平均值作为每个样品的最终结果。2）pH的测定，屠宰后45 min取背腰最长肌3块，用Testo 205型pH计测定肉样的pH，每个样品选取3个点测定后，取平均值为最终结果。3）剪切力的测定，沿背最长肌肌纤维方向取3块羊肉，长×宽×厚为6 cm×3 cm×3 cm，于蒸煮袋中80 ℃恒温水浴锅加热30 min后放置在4 ℃冰箱中过夜，取出肉样，沿肌纤维方向，用直径1.27 cm的取样器取肉柱，使用TMS-PRO食品物性分析仪测定剪切力，每个样品测3次，取平均值作为最终结果。4）滴水损失的测定，选取屠宰后的背腰最长肌3块，长×宽×厚为5 cm×3 cm×2 cm，至于电子天平中称取其初样重W_1，之后均用铁丝悬挂于一次性塑料水杯中，避免与杯壁接触，置于4 ℃的冰箱中，24 h后取出用吸水纸吸干表面水分并称取末样重W_2。计算公式如下：

$$滴水损失(\%)=[(W_1-W_2)/W_1]\times 100。$$

1.6 数据处理

试验数据采用Excel 2013进行初步统计后，使用SPSS 20.0统计软件中ANOVA过程进行单因子方差分析，试验数据用平均值±标准差（means±SD）表示，以$P<0.05$作为差异显著性判断标准，以$P<0.01$作为差异极显著判断标准。

2 结 果

2.1 饲粮中磷酸脲添加量对羔羊增重性能的影响

由表2可见，的各期平均日增重的影响。4%组预试期、正试期第1月、正试期第2月和正试期全期的平均日增重均极显著低于其他各组（P<0.01），其他各组间差异不显著（P>0.05）。1%组的平均日增重在各个时期均高于其他各组。试验组与对照组相比，除4%组外，各时期平均日增重均接近对照组，甚至高于对照组。

表2 饲粮中磷酸脲添加量对羔羊各阶段平均日增重的影响

Table 2 Effects of dietary urea phosphate supplemental level on average daily gain of lambs in each period

g/d

项目 Items	对照组 Control group	0.5%组 0.5% group	1%组 1% group	2%组 2% group	4%组 4% group
预试期 Pre-test period	220.56±27.00^{Aa}	227.60±27.52^{Aa}	242.71±48.57^{Aa}	218.75±25.24^{Aa}	16.11±37.34^{Bb}
正试期第1月 The 1st month of test period	252.22±18.07^{Aa}	273.75±10.83^{Aa}	273.96±10.61^{Aa}	263.96±8.97^{Aa}	8.44±19.97^{Bb}
正试期第2月 The 2nd month of test period	204.95±14.799^{Aa}	186.69±14.48^{Aa}	210.28±11.36^{Aa}	192.94±11.87^{Aa}	45.81±16.31^{Bb}
正试期全期 Whole test period	228.20±11.95^{Aa}	229.51±9.35^{Aa}	241.60±9.64^{Aa}	227.87±6.92^{Aa}	27.43±17.06^{Bb}

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著（P>0.05），不同小写字母表示差异显著（P<0.05），不同大写字母表示差异极显著（P<0.01）。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P＜0.05), and different capital letter mean significant difference （P<0.01）. The same as below.

2.2 饲粮中磷酸脲添加量对羔羊屠宰性能的影响

由表3可见，4%组宰前活重、胴体重均极显著低于其他各组（P<0.01），其他各试验组间与对照组相比差异不显著（P>0.05）。磷酸脲添加量对羔羊的屠宰率影响差异不显著（P>0.05），但2%组屠宰率低于对照组，1%组的屠宰率达到最高水平。

表3 饲粮中磷酸脲添加量对羔羊屠宰性能的影响

Table 3 Effects of dietary urea phosphate supplemental level on slaughter performance of lambs

项目 Items	对照组 Control group	0.5%组 0.5% group	1%组 1% group	2%组 2% group	4%组 4% group
宰前活重 Live weight before slaughter/kg	42.17±2.01^{Aa}	43.30±1.31^{Aa}	44.17±2.55^{Aa}	42.25±1.42^{Aa}	31.55±1.08^{Bb}
胴体重 Carcass weight/kg	20.65±1.04^{Aa}	21.14±0.56^{Aa}	21.64±1.25^{Aa}	19.82±0.83^{Aa}	14.95±0.81^{Bb}
屠宰率 Slaughter rate/%	48.96±0.54	48.86±0.47	49.02±0.61	46.88±0.69	47.25±1.35

2.3 饲粮中磷酸脲添加量对羔羊羊肉肉品质的影响

2.3.1 羊肉肉色

由表4可见，磷酸脲的添加量对羔羊肉的肉色有显著的影响（P<0.05）。在磷酸脲添加量对羔羊肉肉色的影响上，2%组的红度值显著高于4%组（P<0.05），而其他各组间差异不显著（P>0.05），但添加磷酸脲各组的红度值均高于对照组；2%组的黄度值显著高于其他各组（P<0.05）；4%组的亮度值显著高于其他各组（P<0.05），其他各组间差异不显著（P>0.05）。

表4　饲粮中磷酸脲添加量对羔羊肉色的影响

Table 4　Effects of dietary urea phosphate supplemental level on meat color of lambs

项目 Items	对照组 Control group	0.5%组 0.5% group	1%组 1% group	2%组 2% group	4%组 4% group
红度 a^*	17.54±4.35^{ab}	21.22±2.86^{ab}	20.17±3.96^{ab}	22.67±2.49^{a}	18.33±2.43^{b}
黄度 b^*	6.54±0.26^{b}	6.02±0.93^{b}	6.57±1.74^{b}	9.00±1.24^{a}	6.96±1.23^{b}
亮度 L^*	29.52±1.67^{b}	27.98±2.77^{b}	29.53±1.94^{b}	28.22±1.71^{b}	31.56±2.44^{a}

2.3.2　羊肉pH、剪切力和滴水损失

由表5可见，磷酸脲添加量对羔羊肉的pH、滴水损失影响差异不显著（P>0.05），但添加磷酸脲有增加羔羊肉滴水损失的趋势（0.05<P<0.10）。从磷酸脲添加量对羔羊肉剪切力的影响可以看出，4%组的剪切力显著低于0.5%组、1%组和2%组（P<0.05），1%组的剪切力显著高于对照组（P<0.05）。

表5　饲粮中磷酸脲添加量对羔羊肉pH、剪切力和滴水损失的影响

Table 5　Effects of dietary urea phosphate supplemental level on pH, shear force and drip loss of meat of lambs

项目 Items	对照组 Control group	0.5%组 0.5% group	1%组 1% group	2%组 2% group	4%组 4% group
pH	6.37±0.19	6.42±0.39	6.35±0.26	6.30±0.21	6.33±0.29
剪切力 Share force/(kg/cm^2)	4.21±0.98^{bc}	4.47±1.13^{ab}	5.16±0.9^{a}	4.81±0.86^{ab}	3.69±1.24^{c}
滴水损失 Drip loss/%	2.95±0.82	4.23±0.84	3.42±0.92	3.98±1.41	4.08±0.45

3　讨　论

3.1　饲粮中磷酸脲添加量对羔羊生长性能的影响

动物在试验过程中不同时期的平均日增重直接反映了磷酸脲作为NPN饲料来源在羔羊育肥上的使用效果。本试验中磷酸脲的不同添加量下只有4%组在各时期的平均日增重均极显著低于其他各组，而其他各添加量下，羔羊的平均日增重在试验的各个阶段下与对照组相比均差异不显著。说明在不超过2%的添加量时，磷酸脲对羔羊的饲喂可保持羔羊正常生长。1%组的各时期平均日增重均高于其他各组，在正试期中平均日增重高于对照组13.40 g/d，说明在1%的添加量下更有利于羔羊的生长。磷酸脲有较强的酸性，1%的磷酸脲溶液pH为1.89，当添加量超过反刍动物的耐受性时，容易引起瘤胃酸中毒，4%组的羔羊平均日增重远低于其他各组，且部分羊只出现负增长状态，原因可能是在此添加量下，羔羊处于酸中毒，

使得羔羊处于病理生长状态下，限制采食量，降低羔羊的消化代谢机能，进而影响羔羊的增长。王波等[16]研究了尿素添加量对杜寒杂交羔羊生长性能的影响，研究显示在0.5%、1.5%的添加量下，平均日增重与对照组相比差异不显著，但其值均小于对照组，说明在饲粮中添加尿素在一定程度会限制羔羊的生长，本试验中磷酸脲添加组除4%组外，在各时期均有提高羔羊平均日增重的趋势。Puga等[17]的研究显示动物瘤胃氨的低释放速度有助于提高采食量和反刍性能，进而提高平均日增重。本试验中羔羊饲喂磷酸脲的效果优于王波等[16]的尿素饲喂效果，可能与磷酸脲在瘤胃内氨的缓慢释放有关。

3.2　饲粮中磷酸脲添加量对羔羊屠宰性能的影响

动物的平均日增重直接关系着动物的宰前活重和胴体重，4%组在各期的平均日增重均极显著低于其他各组，因此该组羔羊的宰前活重与胴体重也极显著低于其他各组。屠宰率是衡量动物生长性能和屠宰性能的重要指标[18]，本试验中各试验组间羔羊的屠宰率差异不显著，且1%组的屠宰率高于对照组；结合羔羊的宰前活重、胴体重，说明磷酸脲作为羔羊的NPN源，在适宜的添加量下有利于改善屠宰性能，在饲料中添加2%以内的磷酸脲时，对羔羊的生产是安全有效的，在1%的添加量下可达到最佳屠宰性能。

3.3　饲粮中磷酸脲添加量对羔羊羊肉品质的影响

3.3.1　羊肉肉色

肉色是指肌肉的颜色，是消费者选择是否买的重要指标[19]。消费者在购买肉时，首先直接通过肉色对肉品质进行整体评价[20]，因此肉色决定了消费者对肉品的可接受性[21]，鲜红、有光泽是消费者的理想羊肉颜色。肉的颜色取决于肌肉中的肌红蛋白和血红蛋白，在充分放血的情况下，前者约占肉中色素80%~90%[22]。肌红蛋白为紫红色，当其与氧结合生成氧合肌红蛋白后就变为鲜红色，

红度值越高，则表明肉色越好，羊肉越新鲜，黄度值越高则表明肉色越差，亮度值越高则肉光泽度越好[23]。本试验各处理组红度值与对照组相比无显著差异，且有提高肌肉红度的趋势，黄度值只有2%组显著高于对照组，亮度值有4%组显著高于对照组。因为磷酸脲替代比例在1%时达到最佳生长性能和屠宰性能，此替代比例下羔羊的合适的，且提高了肌肉的红度值，增强肌肉的鲜红度。2%的替代比例下尽管此时的肌肉黄度值显著高于对照组，但在肌肉的红度值和亮度值上与对照组相比无显著差异，且此时期羔羊也保持较好的生长性能和屠宰性能，综合考虑，此替代比例也是适宜的替代比例。

3.3.2　羊肉pH、剪切力、滴水损失

pH是判定肉质的重要指标，也是反映动物屠宰后肌糖原酵解速度的重要指标。肉的pH直接影响着肉的颜色、嫩度、烹煮损失和肉质保藏[23]，对肉品质有重要的影响。当pH降低过快、肌糖原枯竭，可导致肌肉的剪切力升高，嫩度下降，形成PSE[白、软、渗出性(pale, soft and exudative）]肉；而当屠宰后若没有足够糖原降解，肉的pH>6.5时，则产生DFD[黑、硬、干（dark, firm and dry）]肉。正常羊肉的$pH_{45\ min}$为6.0~6.5，高pH羊肉较正常pH羊肉的气味和风味要低，随pH增大，理想的气味和风味特征减少[24]。本试验中，各组的pH均在该正常范围内其且各组差异不显著，除0.5%组外，其余各试验组的pH均低于对照组，说明磷酸脲的添加量不影响羔羊肉的理想气味和风味，且还有轻微的改善作用。王波等[16]的研究显示尿素添加量对羔羊肉pH的影响时显示各组的pH均在正常范围内；王扬等[25]的研究也表明尿素添加量在0.25%~0.75%时对肉兔的腿肌pH影响差异不显著，该研究结果本试验磷酸脲对羔羊肉pH的研究结果基本一致。磷酸脲与尿素均为NPN类饲料添加剂，其被反刍动物利用的途径基本一致，因此具有相似的利用效果。

肌肉的嫩度也是肉的重要感官特征，反映了肉对牙齿压力的抵抗性、咬断或咀嚼肌肉的难易程度和舌感觉肌肉的柔韧性。剪切力与肌肉的嫩度密切相关[26]，因此我们可以利用肌肉的剪切力来衡量其嫩度，肉质的剪切力越大说明肉的嫩度越差[27]。剪切力在一定程度反映了肌肉中的肌原纤维、结蹄组织、脂肪的含量。本试验中各组羔羊肉的剪切力与对照组相比，1%组的剪切力显著高于对照组，其余各组与对照组相比差异不显著。但各试验组除4%组外剪切力均大于对照组，说明磷酸脲会增加肌肉的剪切力。夏安琪[28]选用6月龄的杜寒杂交羔羊测定羊肉品质，采用清真屠宰方法羊的肌肉剪切力平均为（8.69±1.14） kg/cm^2，本试验同为6月龄的杜寒杂交羊，各组的剪切力值均低于夏安琪[28]试验的剪切力，也低于王波等[16]的试验的剪切力，说明在添加磷酸脲的情况下，仍可保持羔羊肉的嫩度。钟志君等[29]在对猪的肉品质研究时发现，猪肉的剪切力随屠宰体重的增加而增加，本试验结束时对照组、0.5%组、1%组、2%组、4%组的平均体重依次是42.34、42.57、43.59、42.45和28.38 kg，本试验中4%组的剪切力低于其他各组，可能也与此添加量抑制羔羊的生长有关，进而降低了其肌肉的剪切力，4%的添加量虽提高肌肉嫩度，但不利于羔羊的生长。

滴水损失能够反映肌肉蛋白质的保水能力，影响肉品的多汁性[30]，是衡量肌肉蛋白质系统释放液体量的重要指标，是指在不添加任何外力的条件下，只受重力而损失肌肉的液体量。在流失的液体中含有大量的水溶蛋白质和肌浆蛋白质，因此滴水损失高不仅会降低肉的质量从而造成经济损失，也会降低肌肉的营养价值。肌肉保水性能直接影响到肉的风味、颜

色、质地、嫩度等，具有重要的经济价值[31]。滴水损失越低，表明肉质越好。本试验中各试验组的滴水损失与对照组相比差异不显著，但试验组组的滴水损失均高于对照组，说明添加磷酸脲会提高羔羊肉的滴水损失。原因可能是因饲粮中添加磷酸脲增加了血液中氨的浓度，从而使得肌肉中氨的含量增加，影响肌肉的保水能力。

4 结 论

① 磷酸脲在1%的添加量时达到最佳生长性能和屠宰性能；当磷酸脲添加量达到2%时，不显著影响羔羊生长性能、屠宰性能和肉品质，但会显著提高肌肉的亮度值。

② 当磷酸脲添加量达到4%时极显著降低羔羊的平均日增重、胴体重，增加肌肉的红度值、亮度值。

致谢：

感谢中国农业科学院饲料研究所马涛博士对文稿所提的宝贵意见。

参考文献：

[1] 谢长城.2014年中国大豆市场回顾及2015年展望[J].中国畜牧杂志,2015,51(2):67–71.

[2] 王龙.全球大豆丰产供应宽松价格区间承压震荡下移——2014年大豆市场回顾及2015年行情展望[J].饲料广角,2015(1):13–17.

[3] 张乃锋,刁其玉.反刍动物饲料添加剂磷酸脲应用研究[J].饲料博览,2003(5):37–39.

[4] 杨德智,周凌云,李发弟.尿素在奶牛生产中的应用[J].中国畜牧兽医,2014,41(3):262–266.

[5] 张宏.磷酸脲产品的开发研究现状[J].青海大学学报:自然科学版,2000,18(2):17–20,56.

[6] 李纪伟,陈肖虎,王睿,等.湿法磷酸制取磷酸脲工艺优化及杂质行为研究[J].无机盐工业,2015,47(2):42–45.

[7] 胡云.我国饲料级磷酸脲现状及发展前景分析[J].饲料广角,2003(2):21–22.

[8] 徐平.磷酸脲作为动物饲料营养添加剂的应用[J].重庆科技学院学报:自然科学版,2008,10(4):69–70,84.

[9] 郭萍.新型饲料添加剂——磷酸脲[J].饲料博览,1997,9(1):42–43.

[10] 张帆,纪守坤,张乃锋,等.磷酸脲对羔羊血清和肌肉钙、磷含量及血清相关代谢激素含量的影响[J].动物营养学报,2015,27(3):845–852.

[11] 赵有璋.杜泊羊及其在我国初步利用效果[J].现代畜牧兽医,2011(1):20–23.

[12] 何若方,李绍钰,金海涛,等.常见微量矿物元素对肉品质的影响[J].中国畜牧兽

医,2008,35(9):12–15.
[13] NRC.Nutrient requirements of small ruminants:sheep,goats,cervids,and new world camelids[S].Washington,D.C.:National Academy Press,2007.
[14] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].2版.北京:中国农业大学出版社,2003:45–100.
[15] 刘洁,刁其玉,赵一广,等.肉用绵羊饲料养分消化率和有效能预测模型的研究[J].畜牧兽医学报,2012,43(8):1230–1238.
[16] 王波,姜成钢,纪守坤,等.饲粮中添加不同水平尿素对肉羊有效性和安全性的影响[J].动物营养学报,2014,26(5):1302–1309.
[17] PUGA D C,GALINA H M,PERÉZ-GIL R F,et al.Effect of a controlled-release urea supplementation on feed intake,digestibility,nitrogen balance and ruminal kinetics of sheep fed low quality tropical forage[J].Small Ruminant Research,2001,41(1):9–18.
[18] 孙丽莎,赵睿,崔慧慧,等.饲粮不同水平蚕沙对绵羊生长性能、屠宰性能、器官发育和血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2015,27(3):941–947.
[19] PRIOLO A,MICOL D,AGABRIEL J.Effects of grass feeding systems on ruminant meat colour and flavour.A review[J].Animal Research,2001,50(3):185–200.
[20] MANCINI R A,HUNT M C.Current research in meat color[J].Meat Science,2005,71(1):100–121.
[21] NAPOLITANO F,CIFUNI G F,PACELLI C,et al.Effect of artificial rearing on lamb welfare and meat quality[J].Meat Science,2002,60(3):307–315.
[22] 黄彩霞,冯岗,卢凌,等.基于食品测色仪的肉色变化规律研究[J].食品安全质量检测学报,2012,3(6):627–632.
[23] 陈槟颖.放牧补饲及宰后成熟对呼伦贝尔羊肉品质影响的研究[D].硕士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2014.
[24] 武雅楠,曹玉凤,高艳霞,等.日粮中添加亚麻籽对羔羊产肉性能和肉品质的影响[J].畜牧兽医学报,2012,43(9):1392–1400.
[25] 王扬,吴震洋,罗扬灵,等.日粮中添加尿素对2～4月龄中国白兔肉品质的影响[J].饲料工业,2009,30(21):48–49.

[26] MALTIN C A,LOBLEY G E,GRANT C M,et al.Factors influencing beef eating quality.2.Effects of nutritional regimen and genotype on muscle fibre characteristics[J].Animal Science,2001,72(2):279–287.

[27] 侯鹏霞.滩羊羔羊早期补饲以及不同体重阶段羊肉品质的研究[D].硕士学位论文.银川:宁夏大学,2014.

[28] 夏安琪.宰前管理对宰后羊肉品质的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2014.

[29] 钟志君,洪亮,杨跃奎,等.不同屠宰体重对川藏黑猪胴体性能及肉品质的影响[J].养猪,2013(6):65–66.

[30] AGUAYO-ULLOA L A,LA LAMA G C M D,PASCUAL-ALONSO M,et al.Effect of feeding regime during finishing on lamb welfare,production performance and meat quality[J].Small Ruminant Research,2013,111(1/2/3):147–156.

[31] SCHÄFER A,ROSENVOLD K,PURSLOW P P,et al.Physiological and structural events post mortem of importance for drip loss in pork[J].Meat Science,2002,61(4):355–366.

Effects of Urea Phosphate Supplementatal Level on Growth Performance, Slaughter Performance and Meat Quality of Lambs

ZHANG Fan[1] JI Shoukun[1] ZHANG Naifeng[1] JIANG Chenggang[1] WANG Liwen[2]
DING Jian[2] SI Bingwen[1] TU Yan[1] DIAO Qiyu[1*]

(1. *Key Laboratory of Feed Biotechnology of the Ministry of Agriculture*, *Feed Research Institute*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100081, *China*; 2. *Station of Animal and Veterinary of the Ministry of Agriculture, Beijing* 100026, *China*)

Abstract: This experiment aimed to investigate the effects of urea phosphate supplemental level on growth performance, slaughter performance and meat quality of lambs, and to evaluate the safety dosage of urea phosphate used in lambs' diet. Eighty F1 Dorper×thin-tailed *Han* crossbred male lambs with an average body weight of (25.86±1.06) kg were used and randomly divided into 5 groups with 8 replicates per group and 2 lambs per replicate. Urea phosphate was added into each

*Corresponding author, professor, E-mail: diaoqiyu@caas.cn (责任编辑 王智航)

group to partly replace soybean meal and other ingredients of a basal diet, which had an equal proportion of forage and concentrate. Urea phosphate level in diets of each group was 0 (control), 0.5%, 1%, 2% and 4%, respectively. The adaptation period was 12 d, and experimental period was 60 d. The results showed as follows: 1% group had largest values of average daily gain (ADG) in each period, live weight before slaughter, carcass weight and slaughter rate; while ADG in each period, live weight before slaughter and carcass weight of 4% group were significantly lower than those of other groups (P<0.01); compared with control group, the supplementation of urea phosphate had little effects on the lamb meat redness, pH and drip loss (P>0.05), and 2% group had a highest value of yellowness occurred (P<0.05); in addition, share force of 1% group (5.16 kg/cm^2) was significantly higher than that of 0.5% group (4.47 kg/cm^2), 4% group (3.69 kg/cm^2) and control group (4.21 kg/cm^2) (P<0.05). In conclusion, urea phosphate can be used as an additive for nitrogen and phosphorus in diets for fattening lambs. Lambs supplemented with 1% urea phosphate have the best growth and slaughter performance. Supplementation of 4% urea phosphate significantly decreases ADG and carcass weight, but muscle redness and brightness are improved. It is safe to add 2% urea phosphate in lambs' diet with detrimental effects on growth, slaughter performance and meat quality, and it can significantly improve brightness value of muscle. Therefore, supplementation of 1% urea phosphate is beneficial for growth performance of fattening lambs to reach an optimal level.

Key words: urea phosphate; lamb; average daily gain; slaughter rate; meat quality